

Transformadores de Distribuição: Sistema da Qualidade em Laboratório de Ensaios

**F.H. Vasconcelos – UFMG E-mail: fvasc@cpdee.ufmg.br ,
R.C. Benedito, A.Terayama Sallum e S.R. Silva – UFMG;
T.M.M Gomide – Rede Metrológica – MG
S.R.Abreu – CFL Cataguazes-Leopoldina**

Palavras-chave - Ensaios, Transformadores de distribuição, normas da qualidade.

Resumo - A grande maioria dos laboratórios de ensaios de A grande maioria dos laboratórios de ensaios de transformadores quer indiscutivelmente, oferecer serviços de qualidade. Porém, muitos carecem de um orientações mais consistentes para atingir esse objetivo. Este trabalho apresenta propostas de organização desses laboratórios, tanto quanto ao aspecto gerencial quanto ao técnico, com vistas à adequação aos conceitos e requisitos de qualidade expressos na NBR ISO/IEC 17025 [1]. Os encaminhamentos adotados para esse fim são colocados e discutidos. Os principais atores presentes no contexto desse tipo de laboratório foram identificados e confidencialidade das informações no laboratório é abordada. Focaliza-se as fontes de possíveis efeitos sistemáticos e aleatórios para obtenção de resultados dentro de níveis de confiança estabelecidos. Na proposta, um certo destaque é dado ao computador que pode ser uma ferramenta importantíssima na implementação do sistema da qualidade.

1. INTRODUÇÃO

Até a pouco mais de uma décadas atrás, não havia sistemas da qualidade suficientemente abrangentes estabelecendo procedimentos para controle de qualidade em todos os estágios do processo de fabricação de produtos. A inspeção final e o ensaios consistiam nos únicos mecanismos disponíveis. Embora tenha havido uma grande evolução nos últimos anos nesse setor, principalmente na última década, os testes ainda desempenham um papel extremamente importante, sendo o único mecanismo totalmente seguro para atestar as qualidades do produto adquirido.

Em se tratando de transformadores, de acordo com as normas da ABNT devem ser ensaiados não apenas os equipamentos novos, mas também aqueles que tenham sido de alguma maneira reformados ou alterados.

Conforme estabelecido na norma NBR-5380/1993 [2], os transformadores de potência (e distribuição) devem ser submetidos a ensaios para verificar a qualidade do equipamento fabricado. Normalmente, esses ensaios, denominados “ensaios de rotina”, são realizados na própria fábrica, devendo ser realizados em todas as unidades de produção, sendo que o comprador tem o direito de designar um representante para assisti-los.

Ensaios de “tipo” incluem além dos ensaios de rotina um outro grupo de ensaios adicional e a eles só é submetido um transformador do lote.

O laboratório de ensaios de que trata este trabalho é, principalmente, o que se dedica a realizar os ensaios de rotina. Embora a maioria das questões tratadas diga respeito a qualquer

laboratório, os laboratórios que realizam ensaios de tipo possuem características um tanto quanto especiais, que, indubitavelmente, os distinguem dos de rotina.

Atualmente nota-se um certo esforço para melhorar a qualidade do serviço prestado no laboratório de ensaios. Possivelmente, a maior motivação é do próprio fabricante que por várias razões tem adquirido novos instrumentos e equipamentos. Nesse sentido, é interessante observar que a aplicação de sistemas da qualidade em outros setores da empresa, acaba levando o fabricante a um processo modernizante mais amplo. Embora, uma boa parte desses novos dispositivos disponha o laboratório ao ser incluído em um processo de automação mais amplo, verifica-se que os laboratórios, em sua maior parte ainda realiza os ensaios através de processos manuais.

Neste trabalho pretende-se apresentar diretrizes para um processo de implementação de sistemas da qualidade em laboratórios de ensaios de transformadores, baseando-se na experiência que tem sido ganha no laboratório de ensaios de transformadores da UFMG.

2. SISTEMA DA QUALIDADE

A implantação de sistemas da qualidade em empresas e organizações, de uma maneira geral tem sido realizadas com base nas normas da série NBR ISO 9000. Por outro lado, as exigências necessárias para implementação de um sistema da qualidade em laboratórios de calibração e ensaio estão contidas na norma NBR ISO/IEC 17025.

A questão de fundo na implantação da NBR ISO/IEC 17025 é que, além de demonstrar a abrangência e o nível de implantação de um sistema da qualidade, os laboratórios devem, formal e preliminarmente, apresentar evidências de competência técnica para que os resultados de calibrações ou ensaios sejam providos de confiabilidade[3].

O presente trabalho relata a experiência no Laboratório de Ensaios de Transformadores de Distribuição da UFMG (LET) - um laboratório acadêmico – onde está sendo implantado o sistema da qualidade de acordo com os requisitos da NBR ISO/IEC 17025, para que possa servir de referência a outros laboratórios de concessionárias, fabricantes ou mesmo de empresas independentes. Na implantação o LET conta com o apoio da Rede Metrológica MG (RMMG), organização estadual que se propõe a apoiar a consolidação da rede de laboratórios metrológicos de Minas Gerais.

Neste trabalho serão abordados alguns tópicos dessa implantação: vocabulário, atribuições e responsabilidades do pessoal, acesso de pessoas não pertencentes ao quadro do laboratório, confidencialidade, hierarquia dos documentos do sistema da qualidade, controle de documentos e o relatório de ensaio emitido pelo laboratório, que é o documento que representa para seus clientes o serviço prestado pelo laboratório.

A implantação do sistema da qualidade exige do laboratório de ensaios, antes de tudo, um esforço de adaptação do vocabulário interno que deve ser adequado ao Vocabulário Internacional de Metrologia VIM [4].

O LET pertence à estrutura do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG, sendo assim parte de uma organização complexa que tem como atividades principais o ensino e a pesquisa. A prestação de serviços na forma de realização de ensaios em dispositivos, equipamentos, materiais, etc enquadra-se na categoria de extensão universitária, forma pela qual os conhecimentos são repassados à sociedade. Desta forma as responsabilidades do pessoal chave da organização com envolvimento ou influência nas atividades de ensaio foram definidas, para identificar potenciais conflitos de interesse.

Em qualquer laboratório dessa natureza, a segurança é um requisito essencial da qualidade. Isso, por si só é um fator que contribui para que o acesso seja mais restrito. A sala de ensaios é separada por cercas que evitam que pessoas estranhas ao serviço se façam presentes com frequência. No caso particular do LET os servidores técnicos se envolvem em atividades de rotina como os testes. Por outro lado, estudantes, em número compatível com as dimensões e finalidades do laboratório, participam de pesquisas ou quaisquer outras atividades não rotineiras. Ter elementos com grande capacidade de contribuir para a melhoria do serviço sem estar diretamente vinculado a ele é um privilégio da universidade.

Com vistas a organizar a estrutura administrativa do laboratório, visando ou não a automação através de computadores, o sistema foi modelado empregando-se para isso elementos de modelagem da UML[5][6] que se prestam perfeitamente a esse papel. Os elementos que interagem com o sistema da qualidade são os atores. A fig 1 mostra os atores humanos (os técnicos, o gerente técnico e o gerente da qualidade) e se houver um sistema automatizado (o Banco de Dados). Fazem parte também do modelo a unidade sob teste (UST) e o Sistema de Ensaio, que contém os equipamentos e dispositivos auxiliares envolvidos na atividade de ensaio.

A norma faz exigências quanto à confidencialidade das informações envolvidas durante os ensaios. A identificação dos atores e a definição dos papéis de cada um deles, contribui claramente para isso. Neste modelo,

tomando o exemplo específico do LET, os elementos de apoio, como outros professores ou estudantes nas atividades denominadas de “iniciação científica”, mestrado ou doutorado, não estão presentes, porque eles não estão envolvidos diretamente nos ensaios.

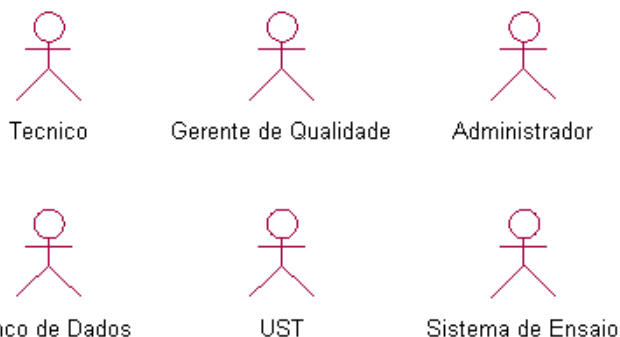


Fig.1 Atores identificados no sistema da qualidade aplicado em ensaios de transformadores.

No modelo da figura 1 o Engenheiro é o ator Gerente Técnico de que trata a Norma. Os “atores técnicos” são aqueles que, de fato, têm a incumbência de realizar o ensaio. O “ator UST” é o transformador de distribuição. O “ator banco de dados” é o repositório final da informação gerada, inclusive do relatório de ensaio e, enquanto tal pode ter seu acesso controlado. As relações entre os atores e sistema é mostrada na fig 2.

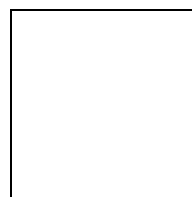


Fig 2 – Relação entre os atores intervenientes no sistema da qualidade.

Segundo o item 4.3.1 da 17025 [1], o laboratório deve estabelecer e manter procedimentos para controlar todos os documentos que fazem parte do seu sistema da qualidade (gerados internamente ou obtidos de fontes externas), tais como regulamentos, normas, outros documentos normativos, métodos de ensaio e/ou calibração, assim como desenhos, softwares, especificações, instruções e manuais.

A documentação da qualidade para laboratórios de ensaios de transformadores e sua hierarquia estão esquematizadas na fig 3, onde os três primeiros níveis de documentação são disponibilizados eletronicamente para uso nos ensaios.

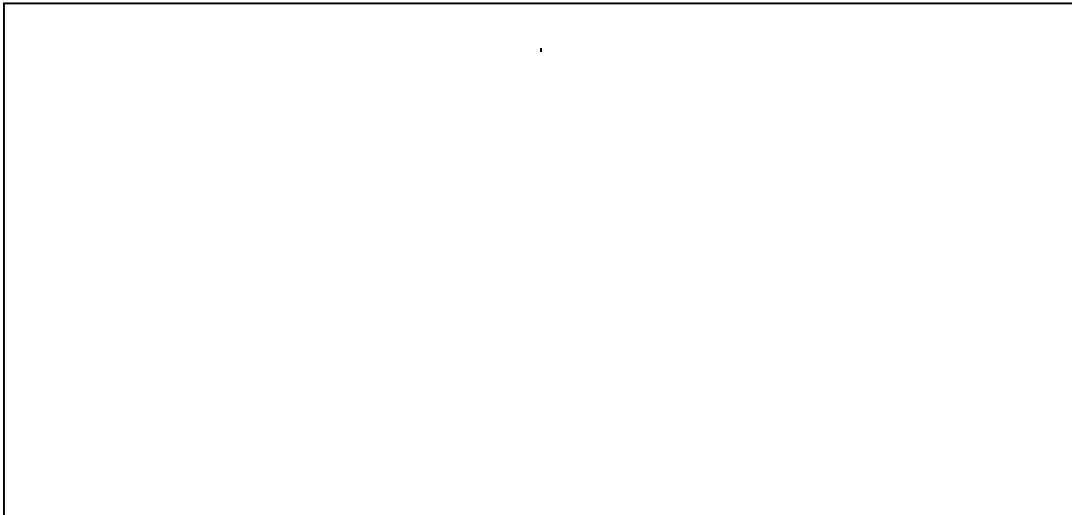


Fig.3 –Hierarquia da documentação da qualidade

Essa disponibilidade requer o uso de senhas de acesso em níveis diferenciados para as pessoas autorizadas a elaborar, alterar, disponibilizar e retirar os documentos na rede de computadores. Com isso, cada um dos atores humanos (administrador, engenheiro, técnico) acima tem um nível específico. Nesse sentido, o ator técnico não pode criar procedimentos de ensaios e nem alterar o manual da qualidade. Cópias impressas dos documentos só podem ser distribuídas para o pessoal interno quando destinadas à revisão. A cada emissão são registrados o número da cópia e o seu destinatário e ao término da revisão essas cópias são recolhidas e inutilizadas. Cópias impressas também são emitidas para organismos acreditadores ou para avaliadores. Essas cópias são controladas e a cada revisão seus destinatários recebem o novo documento. Clientes ou outros interessados que solicitarem cópia dos procedimentos do laboratório recebem uma cópia não controlada, assim identificada, desde que autorizado pelo gerente técnico.

Todas as pessoas envolvidas nas atividades do Laboratório são treinadas na documentação da qualidade antes de sua implantação. No laboratório todos tem responsabilidade de observar, adotar, divulgar e estimular o cumprimento das diretrizes estabelecidas na documentação do sistema da qualidade.

Qualquer dos documentos implantado está sujeito a modificações e o pessoal é encorajado a apresentar sugestões para alterações à gerência. Prevê-se que, no mínimo a cada 5 anos toda documentação seja analisada criticamente e se necessário, os documentos sejam revisados.

O manual da qualidade é estruturado em capítulos correspondentes aos requisitos da norma. Inclui as políticas para os itens específicos, bem como referências a todos os procedimentos complementares do laboratório relativos ao cada item da NBR ISO/IEC 17025.

O laboratório está estruturando o procedimento de controle de seus documentos, os quais poderão estar, em sua maioria, em meio eletrônico. Deverão ser controlados todos os documentos usados tais como regulamentos, normas, métodos de ensaio, desenhos, softwares, especificações, instruções e manuais. Essa etapa inclui a edição de listas-mestras por tipo de documento e dos procedimentos de controle para emissão, revisão e distribuição de documentos e para a retirada de uso e inutilização dos obsoletos.

Para atender a NBR ISO/IEC 17025, o relatório de ensaio deve relatar os resultados de ensaio com exatidão, clareza, objetividade, sem ambigüidades e de acordo com as instruções específicas dos métodos de ensaio selecionados.

O seu formato foi projetado para atender aos vários tipos de transformadores até a capacidade limite dos equipamentos de teste do laboratório e minimizar a possibilidade de equívoco ou uso incorreto, padronizando o máximo possível os cabeçalhos.

Informações que devem ser incluídas nos relatórios de ensaio:

- a) O título: Relatório de Ensaio.
- b) O nome e o endereço do laboratório.
- c) O número de série sequencial, com a identificação unívoca do relatório e a identificação do número da página /número de páginas, para assegurar que a página seja reconhecida como uma parte do relatório.
- d) O nome e o endereço do cliente.
- e) A identificação do método utilizado, por uma breve descrição do método e pela identificação de procedimento adotado. Neste item toma-se o cuidado de informar quaisquer desvios, adições ou exclusões do método de ensaio e informações

- sobre condições específicas de ensaio, tais como alteração das condições ambientais.
- f) A descrição do transformador, a condição de recebimento e a identificação feita pelo laboratório no corpo e na tampa (de modo a identificá-lo a qualquer tempo sem ambigüidade), a data do ensaio e a data da emissão do relatório.
 - g) Os resultados do ensaio ou calibração com as unidades de medida, onde apropriado. Está sendo dada atenção ao lay-out do relatório de ensaio especialmente com respeito à apresentação dos dados de ensaio e a fácil assimilação pelo leitor.
 - h) O nome, função e assinatura do técnico que realizou os ensaios e do gerente técnico do laboratório que autoriza a emissão do relatório.
 - i) A declaração de que os resultados se referem somente ao transformador ensaiado.
 - j) A declaração especificando que o relatório de ensaio só deve ser reproduzido completo, a reprodução de partes requer aprovação escrita do laboratório.
 - k) Onde aplicável, a declaração sobre a incerteza estimada de medição.
 - l) Onde apropriado, a declaração de conformidade/não-conformidade às especificações ou outras opiniões e interpretações necessárias. Quando são incluídas opiniões e interpretações, o laboratório documentará as bases (normas) nas quais as opiniões e interpretações foram feitas. No relatório de ensaio, essas opiniões e interpretações serão claramente destacadas, como tais.

- m) As informações adicionais que sejam requeridas por métodos específicos ou por clientes.

Uma maneira que garante que o relatório seja o mais completo possível é entrar com os dados adequadamente. Se isso for feito de maneira automatizada, através de uma interface com usuário apropriada (figura-4) é grande a possibilidade de que isso ocorra.

As emendas em um relatório de ensaio após a emissão serão feitas sob a forma de um novo documento. Os relatórios alterados por emendas serão identificados com as informações da data e número do novo documento emitido

3. QUALIDADE DAS MEDIÇÕES

Os ensaios de rotina realizados em transformadores a serem instalados no sistema de distribuição de energia, com potência nominal menor do 300kVA são, de acordo com a NBR-5356/1993, em número de 9.

Neste trabalho, a ênfase maior é para os ensaios de medição de perdas no núcleo e nos enrolamentos. Nesse ensaio são obtidas também o valor da corrente de excitação e da impedância de curto-circuito. Os ensaios dielétricos também são abordados. Porém, informações sobre medições realizadas em outros ensaios como medição da relação de transformação, rigidez dielétrica do óleo isolante, podem ser encontradas na literatura [8].

3.2 Ensaio dielétricos

Os ensaios de verificação da suportabilidade do dielétrico do transformador são, para transformadores desse nível de tensão e potência, três. Entretanto, o ensaio de resistência de isolamento tem função apenas de verificar e não se constitui em critério seleção ou exclusão de equipamentos.

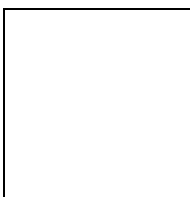


Fig.4- Interface do usuário para controlar os ensaios

Dos ensaios dielétricos, o ensaio de tensão induzida visa testar a suportabilidade do isolamento entre espiras. Assim, no enrolamento de baixa tensão é aplicada, em geral, uma tensão maior do que a nominal do respectivo enrolamento, de forma que cada espira fique sujeita a um esforço maior do que em regime permanente. A temperatura deve ser a ambiente [7].

Entretanto, para que seja possível dobrar o valor da tensão no enrolamento, é necessário também dobrar a frequência para que a corrente no enrolamento na seja excessiva. Assim, o ensaio é feito normalmente à frequência de 120 Hz., durante 7200 ciclos.

Considerando o nível tecnológico atual, esta medição pode ser feita sem grandes problemas com o grau de exatidão requerido. Observa-se, entretanto, que instrumentos eletromecânicos, principalmente os baseados no princípio ferro-móvel, devem ser usados com reservas, considerando que nessa frequência eles começariam a ser afetados pelas correntes parasitas [8][9]. Preferencialmente, de acordo com norma [6] o ensaio deveria

ser realizado a partir do enrolamento de alta tensão. Porém, muitas vezes ele será realizado conectando-se a fonte no enrolamento de baixa tensão.

Em relação ao ensaio de tensão aplicada seria importante que fosse realizado fazendo-se a medição do lado de alta tensão (fonte). Porém, muitas vezes observa-se que a tensão de teste é aplicada utilizando-se um transformador de ensaios adequados, mas a medição é feita do lado de baixa tensão dessa fonte.

Tendo em vista que em ambos os ensaios, o isolamento do transformador estará a prova, a melhor situação ocorre para a medição realizada do lado da fonte. Considerando que tensões harmônicas irão estressar mais do que o necessário o isolamento em teste, medidores de THD dariam melhores resultados do que os voltímetros de valor eficaz verdadeiro e médio-absoluto, que tem sido usados [7].

3.2 Medições nos ensaio de perdas

Os ensaios de perdas tem por objetivo medir as perdas totais nos transformadores e verificar a sua conformidade com os limites estabelecidos na norma NBR-5356/1993, de acordo com a classe de tensão e a potência aparente. Os ensaios deste grupo são:

perdas em vazio ou com circuito aberto, para determinação de WHF (perdas no núcleo do transformador);

perdas em carga ou em curto-circuito, para determinação de Wcc (perdas nos enrolamentos, primário e secundário do transformador).

Os dados obtidos no ensaio para medição das perdas em carga são usados também para determinar, através de cálculos, os valores da resistência, reatância e impedância de dispersão dos enrolamentos em valores percentuais. O valor da resistência e, conseqüentemente da impedância, são considerados válidos para a temperatura ambiente, que deve ser medida no momento do ensaio. Posteriormente, devem ser corrigidos para a temperatura de 75°C.

De acordo com a NBR-5380/1993 em cada um dos destes ensaios é necessário registrar o valor da potência de perdas. Se o equipamento sob teste (transformador) for trifásico, o ensaio de perdas “em curto-circuito” pode ser feito empregando-se o método de Aron (dois wattímetros). Este método pode ser empregado quando o sistema tiver apenas 3 condutores [7], sem o condutor neutro, uma vez que a medição é feita no lado de alta tensão.

No ensaio para medição de perdas “em vazio” é necessário empregar três wattímetros, uma vez que neste caso, os instrumentos são colocados do lado de baixa tensão com o condutor neutro presente. Em qualquer um dos ensaios recomenda-se também o monitoramento das correntes e tensões em pelo menos uma das fases durante o teste. Porém, isso é mais importante no ensaio “em vazio”, para evitar que uma corrente excessivamente alta esteja circulando no circuito de corrente do wattímetro.

Dos dois ensaios o “em vazio” é o que impõe mais restrições aos medidores. A medição de Wcc, no ensaio “em curto-circuito” é realizada sobre um circuito linear e com características mais resistivas ($\cos\phi > 0.5$). Se a unidade sob teste (transformador) for para circuitos trifásicos, podem ser utilizados apenas 2 instrumentos wattímetros. Por outro lado, no ensaio “em vazio”, sendo a tensão senoidal, a corrente será claramente distorcida e conterá vários componentes harmônicos. Além do mais, como o enrolamento de alta tensão permanece aberto, tudo ocorre como se estivesse sendo medidas as perdas em bobina, onde se espera que o fator de potência seja baixo ($\cos\phi \rightarrow 0$).

3.1.1 Ensaio de perdas “em vazio”

No ensaio para medição das perdas no núcleo, o modelo matemático para o mensurando, isto é, WHF, considerando que a medição está sendo efetuada com um instrumento wattímetro será dado por [8][9]:

$$\text{[Diagrama em branco]} \quad (1)$$

onde,

W_m – valor médio da potência medida, nas condições de teste;

$\alpha = \arctan \frac{2\pi f L_v}{R_v}$, sendo L_v e R_v , respectivamente a indutância e a resistência. Neste caso, emprega-se o modelo série válido para instrumentos eletromecânicos. No caso de instrumentos digitais, $\arctan \frac{2\pi f C_v R_v}{R_v}$ sendo C_v e R_v , respectivamente a capacitância e a resistência. Neste caso, emprega-se o modelo paralelo. Em ambos casos os elementos pertencem ao circuito de medição de tensão.

$\phi = \arccos \frac{R_c}{Z_c}$, sendo R_c e Z_c , respectivamente a resistência e a impedância do transformador, para as condições do ensaio “em vazio”.

ΔW_r – possível correção no valor indicado pelo instrumento, devido à resolução finita. Em geral, este valor é zero.

ΔW_c – possível correção no valor indicado pelo instrumento, devido ao certificado de calibração ou, na falta deste, o erro máximo apresentado pelo fabricante. Em geral, este valor é também zero.

O sinal “+” na expressão (1) aplica-se quando o instrumento é eletrônico digital e o sinal “-” para instrumentos eletromecânicos. Considerou-se que o circuito para medição de corrente praticamente não introduz erros. Nos circuitos de medição que incluem transformadores de corrente e de potencial, $\phi_i < \phi_v$, e para cargas muito indutivas, como é o caso de transformadores com núcleo de aço silício de alta qualidade ou de material amorfo, $\tan\theta \gg 1$, introduzindo um efeito sistemático considerável, que deve ser compensado. Como exemplo, o wattímetro Yokogawa modelo WT 2030 [11], apresentaria uma diferença de aproximadamente 5% caso estivesse sendo usado para medição das perdas no ensaio “em vazio”, quando o $\cos\phi \approx 0,2$, em relação ao valor indicado quando o $\cos\phi \approx 1,0$.

Tomando como base o modelo acima pode ser construída uma tabela-1, para determinação da incerteza expandida associada à medição da potência de perdas, conforme determinado em [1].

Tabela-1 Balanço da incertezas – perdas no núcleo

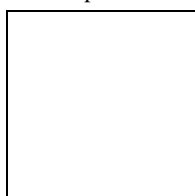
Incert.	origem	valor	Distr.	Div.	Ci	θ_{eff}
A(W)	Leituras		normal			
B	resolução esc. instr.	u(r)	retang.		1	∞
B	certif. calibração	Sc	retang.	2	1	∞
A(ϕ)	Leituras		normal			

B(α)	manual instrum.	u(α)	retang.			∞
uc(Incerteza combinada					
U	Incerteza expandida					

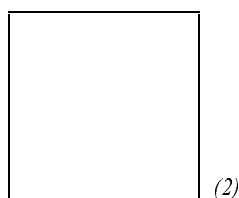
O coeficiente de Ci para qualquer dos casos deve ser obtido de acordo com o estabelecido em [9]. A função WHF é derivada primeiro em relação a Wm, em seguida α e por último ϕ .

3.1.2 Ensaio de perdas “ em curto-circuito”

O ensaio de perdas para medição das perdas em curto circuito é relativamente mais simples do que o “em vazio”. Como mencionado anteriormente, o circuito apresenta características mais resistivas com fator de potência ($\cos\phi$) próximo a 0,8. Neste caso, o desvio da medição é próximo de zero. Assim, o modelo para o mensurando é dado por:



mas neste ensaio $\tan\phi \approx \phi \rightarrow 0$ e $\tan\alpha < 1$. Assim,



onde

k_T – coeficiente de correção da potência para temperatura de 75C, em relação à temperatura ambiente de teste.

Os demais termos foram definidos no item 3.1.1. Esta equação deveria também ter os termos de $\tan\alpha$ e $\tan\phi$, como visto para cálculo de PHF. Porém, tendo em vista que agora o fator de potência é próximo da unidade, ela pode ser simplificada sendo da por (2). Neste caso também deve ser construída a tabela para balanço das incertezas, da mesma forma do que no caso anterior. A rigor, o coeficiente k_T é também uma grandeza obtida por medição e, assim, deveria ser considerado no cômputo da incerteza.

4. CONCLUSÕES

Os aspectos mais importantes do processo de implementação de um sistema da qualidade em laboratórios de ensaios de transformadores de distribuição foram abordados. Os laboratórios desse tipo estão sendo incentivados a se adequarem com vistas ao credenciamento. Se hoje em dia, essa questão ainda é tratada numa base voluntária, dentro de pouco tempo

laboratórios não vinculados às redes de ensaio terão dificuldades em continuar a prestar o tipo de serviço que realizam hoje.

Além, da modelagem administrativa, é muito importante realizar a automação de vários dos ensaios a que são submetidos os transformadores. Na experiência realizada na UFMG, um programa de computador em linguagem C/C++ foi construído [11], privilegiando também o uso de interfaces com usuário e tornando desnecessário que os atores técnicos sejam funcionários muito experientes.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi em parte financiado pela C.F.L. Cataguazes-Leopoldina e por C.E. Nova Friburgo, e se desenvolveu em decorrência de um projeto de pesquisas apresentado à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), cujo propósito era o de estudar transformadores de núcleo material amorfo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas,. NBR-ISSO/IEC 17025 - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2001.
- [2] ABNT. NBR 5380 - Transformador de Potência - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1993.
- [3] Tania M.M. Gomide, Laura R.G. França, Eber P. Barbosa, Jorge M.E. Saffar, Laboratórios, essas organizações peculiares, Metrologia 2000 International Conference on Advanced Metrology in Chemistry and Laboratory Quality, II National Encounter of Accredited Laboratories. pp 49-58, São Paulo, 2000.
- [4] INMETRO. “Vocabulário Internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia”. 2ª. edição. <http://www.inmetro.gov.br/infotec/vim.asp>, 2000.
- [5] Boock, G., Rumbaugh, J. & Jacobson, I. “UML-Guia do Usuário”, Editora Campus, ISBN 85-352-0562-4, 2000.
- [6] Terayama Sallum, A. “Sistema Automatizado para Calibração de Instrumentos Multifuncionais de Medição”, Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG, 2002.87p. (Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica).
- [7] ABNT. NBR 5356 - Transformador de Potência - Especificação. Rio de Janeiro, 1993.
- [8] Schnell, L. (editor). “*Technology of Electrical Measurements*”, Ed. John Wiley & Sons, 1993;
- [9] Harris, F. K. “*Electrical Measurements*”. Editora John Wiley & Sons, Inc. 1952 (impressão 1965).
- [10] ABNT, INMETRO e SBM, “Guia para expressão da incerteza de medição” 2ª. edição. Serifa Editoração e Informática S/C Ltda. Rio de Janeiro, 1998. ISBN 85-86768-03-0.
- [11] Yokogawa Electric Corporation. “User’s Manual: WT2030 Digital Power Meter”.

[12]National Instruments. “Measurement Studio”, full development package for C/C++.